

⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

# ⑯ Offenlegungsschrift

⑯ DE 3701811 A1

⑯ Int. Cl. 4:

C30B 15/02

C 30 B 15/14

// C30B 29/10,29/06,  
29/40

DE 3701811 A1

⑯ Aktenzeichen: P 37 01 811.6

⑯ Anmeldetag: 22. 1. 87

⑯ Offenlegungstag: 4. 8. 88

⑯ Anmelder:

Kawasaki Steel Corp., Kobe, Hyogo, JP

⑯ Vertreter:

Pagenberg, J., Dr.jur., Rechtsanw.; Bardehle, H.,  
Dipl.-Ing., Pat.-Anw.; Frohwitter, B., Dipl.-Ing.,  
Rechtsanw.; Dost, W., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;  
Altenburg, U., Dipl.-Phys., Pat.-Anwälte; Kroher, J.,  
Dr., Rechtsanw.; Geißler, B., Dipl.-Phys.Dr.-jur., Pat.-  
u. Rechtsanw., 8000 München

⑯ Erfinder:

Haida, Osamu; Aratani, Fukuo, Chiba, JP

## ⑯ Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung eines Einkristalls

Beim Czochralski-Einkristallzüchten von hochreinem Silicium wird an die Siliciumschmelze im Schmelziegel ein abwärtswanderndes Magnetfeld angelegt und es wird eine ergänzende Menge von polykristallinem Silicium in die Schmelze eingeführt, um die Volumenabnahme der Schmelze im Schmelziegel durch das Wachsen des Einkristalls auszugleichen, wobei seine Aufgabe ist, die Dotierungskonzentration in der Schmelze auf einem konstanten Pegel zu halten. Im Vergleich mit dem Verfahren des Standes der Technik, bei dem kein magnetisches Wanderfeld angelegt wird, ist der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Silicium-Einkristall vorteilhaft im Hinblick auf die wesentlich kleinere Variation des spezifischen Widerstandes innerhalb der Ebene von Wafers, die durch Zerschneiden des Einkristallkörpers hergestellt sind.

DE 3701811 A1

## Patentansprüche

1. Verfahren für die Herstellung eines Einkristalls mit dem Czochralski-Verfahren durch Hochziehen des Einkristalls an einem Impfkristall aus einer in einem Schmelzriegel enthaltenen Schmelze gekennzeichnet durch

- a) Anlegen eines magnetischen Wanderfeldes an die im Schmelzriegel enthaltene Schmelze; und
- (b) Einführen des polykristallinen Ausgangssiliciums in die in dem Schmelzriegel enthaltene Schmelze.

2. Vorrichtung zur Herstellung eines Einkristalls mit dem Czochralski-Verfahren durch Hochziehen des Einkristalls an einem Impfkristall aus einer in einem Schmelzriegel enthaltenen Schmelze, gekennzeichnet durch

- (1) einen Schmelzriegel, in dem die Schmelze enthalten ist;
- (2) eine Einrichtung zum Beheizen der in dem Schmelzriegel enthaltenen Schmelze;
- (3) eine Einrichtung zum Anlegen eines abwärtswandernden magnetischen Feldes an die in dem Schmelzriegel enthaltene Schmelze, die den Umfang der Seitenwände des Schmelzriegels umgibt; und
- (4) eine Einrichtung zum Einführen des polykristallinen Ausgangssiliciums von oben in die in dem Schmelzriegel enthaltene Schmelze.

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren für die Herstellung eines Einkristalls und eine dafür verwendete Vorrichtung. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Czochralski-Verfahren zum Züchten eines Einkristalls einer anorganischen Verbindung oder eines Halbleitermaterials wie hochreines Silicium, Galliumarsenid u.ä. und eine dafür verwendete Vorrichtung.

Das Czochralski-Verfahren zum Züchten von Einkristallen ist ein Verfahren, bei dem der Einkristall gezüchtet wird durch Hochziehen aus einer Schmelze des Materials in einem Schmelzriegel an einem Impfkristall. Dieses Verfahren wird bei der industriellen Fertigung von Halbleiter-Einkristallen wie hochreinem Silicium, Galliumarsenid u.ä. weitverbreitet praktiziert, weil das Verfahren geeignet ist für die Herstellung eines Einkristallkörpers von großem Durchmesser. Das Verfahren hat jedoch ein Problem, wenn ein Halbleiter, z.B. ein mit einem Dotierungselement wie Phosphor, Bor u.ä. dotierter Halbleiter, z.B. Siliciumeinkristall gezüchtet werden soll durch Hochziehen aus einer Siliciumschmelze, die das gewünschte Dotierungselement gelöst in der Schmelze enthält. Besonders ist dabei das Phänomen des Auskristallisierens des Dotierungsmittels mehr oder weniger unvermeidbar, so daß die Konzentration des Dotierungsmittels in der in dem Schmelzriegel enthaltenen Schmelze allmählich zunimmt, während der Prozeß des Wachstums des Einkristalls fortschreitet, wobei ein verminderter Volumen der Schmelze im Schmelzriegel hinterlassen wird. Entsprechend ist es üblich, daß die Verteilung der Dotierungskonzentration über den ganzen Körper eines mit einem solchen Verfahren gezüchteten Einkristalls nicht einheitlich ist und vom oberen

Ende zum unteren Ende zunimmt gemäß einem großen Gradienten des spezifischen Widerstandes, der vom oberen Ende zum unteren Ende abnimmt.

Es wurde kürzlich eine Lösung des oben beschriebenen Problems beschrieben in US Patent 42 82 184 und US-Patent 44 10 494 durch George Fiegler et al im Zusammenhang mit dem Czochralski-Einkristallzüchten von Silicium. Gemäß dem Vorschlag wird ein Schmelzriegel zum Schmelzen, in dem das polykristalline Silicium zur Bildung einer Schmelze geschmolzen wird, getrennt von dem Kristallzüchtungsschmelzriegel eingerichtet und die Siliciumschmelze, die in dem Schmelzriegel zum Schmelzen gebildet wird, wird zu dem Kristallzüchtungsschmelzriegel durch ein die beiden Schmelzriegel verbrückendes Leitungsrohr mit einer solchen Rate überführt, daß die Volumenabnahme der Schmelze in dem Kristallzüchtungsschmelzriegel kompensiert wird, um die Zunahme der Dotierungskonzentration in der in dem Kristallzüchtungsschmelzriegel enthaltenen Schmelze zu verhindern. Dieses Verfahren ist jedoch vom praktischen Standpunkt nicht brauchbar aufgrund von Nachteilen wie der Schwierigkeit bei der Temperaturregelung des Leitungsrohrs der Schmelze und der hohen Kosten für die komplizierte Vorrichtung als auch für das Heizen und die Temperaturregelung der beiden getrennten Schmelzriegel.

Es wäre natürlich ein wünschenswerter Weg, daß die Volumenabnahme der Siliciumschmelze in dem Kristallzüchtungsschmelzriegel im Verlauf des Hochziehens des Einkristalls kompensiert wird, indem man direkt eine ergänzende Menge an körnigem polykristallinem Silicium oder geschmolzenem Silicium in den Schmelzriegel einführt, ohne einen getrennten Schmelzriegel zum Schmelzen und ein Leitungsrohr für die Schmelze zu verwenden. Beim Suchen von Möglichkeiten für das oben erwähnte Verfahren wurden jedoch keine aussichtsreichen Ergebnisse erhalten aufgrund der in großem Ausmaß zugenommenen Variation der Dotierungskonzentration und damit des spezifischen Widerstandes des so gezüchteten Einkristallkörpers.

Entsprechend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Verbesserung beim oben erwähnten Czochralski-Verfahren des Einkristallzüchtens anzugeben, bei dem die Volumenabnahme der Schmelze in dem Kristallzüchtungsschmelzriegel kompensiert werden kann durch direktes Einführen des polykristallinen Ausgangsmaterials in den Schmelzriegel ohne den Nachteil einer zugenommenen Variation der Dotierungskonzentration innerhalb des Einkristallkörpers.

Das Verfahren der vorliegenden Erfindung zum Herstellen eines Einkristalls durch das Czochralski-Verfahren durch Hochziehen des Einkristalls an einem Impfkristall aus einer in einem Schmelzriegel enthaltenen Schmelze beinhaltet daher:

- (a) Anlegen eines magnetischen Wanderfeldes an die in dem Schmelzriegel enthaltene Schmelze; und
- (b) Einführen des polykristallinen Ausgangssiliciums in die in dem Schmelzriegel enthaltene Schmelze.

Die vorliegende Erfindung gibt auch eine Vorrichtung für die Herstellung eines Einkristalls durch das Czochralski-Verfahren an, um den Einkristall an einem Impfkristall aus einer in einem Schmelzriegel enthaltenen Schmelze hochzu ziehen, gemäß dem oben beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren. Die erfindungsgemäße Vorrichtung beinhaltet:

- (1) einen Schmelzriegel, in dem die Schmelze enthalten ist;
- (2) eine Einrichtung zum Beheizen der in dem Schmelzriegel enthaltenen Schmelze;
- (3) eine Einrichtung zum Anlegen eines abwärts wandernden magnetischen Feldes an die in dem Schmelzriegel enthaltene Schmelze, wobei die Einrichtung den Umfang der Seitenwände des Schmelzriegels umgibt; und
- (4) eine Einrichtung zum Einführen des polykristallinen Ausgangssiliciums von oben in die in dem Schmelzriegel enthaltene Schmelze.

Die oben erwähnte Einrichtung (3) zum Anlegen eines magnetischen Wanderfeldes an die Schmelze in dem Schmelzriegel beinhaltet einen Elektromagneten, der die Seitenwände des die Schmelze enthaltenden Schmelzriegels umgibt und eine elektrische Energieversorgung zum Versorgen des Elektromagneten mit einem Niederfrequenz-Wechselstrom.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung; es zeigen:

Fig. 1 in schematischer Darstellung einen axialen Querschnitt einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Czochralski-Einkristallzüchten;

Fig. 2 und 3 in schematischer Darstellung jeweils einen axialen Querschnitt einer anderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Czochralski-Einkristallzüchten;

Fig. 4 und 5 jeweils eine schematische Darstellung einer herkömmlichen Vorrichtung zum Czochralski-Einkristallzüchten, bei der eine Einrichtung vorgesehen ist zur Kompensation der Volumenabnahme der Schmelze in dem Kristallzüchtungsschmelzriegel durch Einführen einer ergänzenden Menge des Ausgangsmaterials der Schmelze;

Fig. 6 eine Darstellung der Stromlinien der Schmelze in dem Schmelzriegel während des Hochziehens eines Einkristalls daraus;

Fig. 7 eine Auftragung, die die Variation des spezifischen Widerstandes innerhalb der Ebene des Wafers zeigt, der durch Zerschneiden aus dem Einkristall von hochreinem Silicium entnommen wurde, das in jedem der Beispiele und der Vergleichsbeispiele hergestellt wurde, als Funktion des magnetischen Wanderfeldes.

Aus der oben gegebenen Zusammenfassung der Erfindung wird verständlich, daß die vorliegende Erfindung im engeren Sinne aus dem Anlegen eines magnetischen Wanderfeldes an die in einem Schmelzriegel enthaltene Siliciumschmelze besteht, während das polykristalline Ausgangsmaterial des geschmolzenen Siliciums in die Schmelze in dem Schmelzriegel in der Umgebung der Seitenwände des Schmelzriegels eingebracht wird. Dieses erfindungsgemäße Verfahren bedeutet einen großen Unterschied zu den Verfahren des Standes der Technik für das Czochralski-Einkristallzüchten von Silicium, die in Fig. 4 erläutert sind, bei denen eine Einrichtung vorgesehen ist für die Kompensation der Volumenabnahme der Schmelze in dem Schmelzriegel durch Einführen des Ausgangsmaterials der Schmelze in die Schmelze.

Bei dem in Fig. 4 erläuterten Verfahren wird z.B. das Volumen der in dem Kristallzüchtungsschmelzriegel 3 enthaltenen Schmelze 4 allmählich vermindert, während der Einkristall 1 wächst, indem er hochgezogen wird aus

der Schmelze 4, wodurch die Volumenabnahme der Schmelze 4 kompensiert wird durch kontinuierliches Überführen der in einem weiteren Schmelzriegel enthaltenen Schmelze 4a, d.h. dem Schmelzriegel zum Schmelzen 3a durch das Leitungsrohr 12 für die Überführung der Schmelze 4a mit der Siphonmethode. Das polykristalline Silicium 2 als Ausgangsmaterial der Schmelze 4a in dem Schmelzriegel 3a wird allmählich in die Schmelze 4a geschmolzen mit einer solchen Rate, daß der Oberflächenpegel der Schmelze 4a in dem Schmelzriegel 3a konstant gehalten werden kann. Dieses Verfahren wäre tatsächlich wirksam und aussichtsreich beim Verhindern der Zunahme der Dotierungskonzentration der Schmelze 4 und dadurch im wachsenden Einkristallkörper 1, wenn nicht die vorstehend beschriebenen Nachteile wären. Fig. 5 erläutert weiter das Verfahren der direkten Einführung des polykristallinen Siliciums 2 in die in dem Schmelzriegel 3 enthaltene Schmelze 4, woraus der Einkristall 1 hochgezogen wird.

Dieses Verfahren liegt auch außerhalb der Anwendbarkeit, aufgrund der viel zu großen Variation in der Dotierungskonzentration innerhalb der Radialebene des auf diese Weise gezüchteten Einkristalls. Die Gründe dafür sind vermutlich die folgenden:

Wie in Fig. 6 erläutert wird, in der in dem Schmelzriegel 3 enthaltenen Schmelze 4 ein thermischer Konvektionsfluß 13 erzeugt. Beim Stand der Technik wird der thermische Konvektionsfluß 13 durch den Ausgleich mit dem Zwangs-Konvektionsfluß 14, der durch Rotieren des wachsenden Einkristalles um die Vertikalachse erzeugt wird, daran gehindert, die fest/flüssige Grenzschicht 15 zu erreichen.

Weil der thermische und der Zwangs-Konvektionsfluß 13 und 14 jeweils einen turbulenten Fluß mit unvermeidbaren Fluktuationen darstellen, kann jedoch ein Teil des thermischen Konvektionsflusses 13 möglicherweise manchmal die fest/flüssige Grenzschicht 15 erreichen. Wenn die fest/flüssige Grenzschicht 15 von einem Strom des thermischen Konvektionsflusses 13 erreicht wird, der die Stelle passiert, an der das polykristalline Siliciummaterial 2 in die Schmelze 4 eingeführt wird, ist es entsprechend vorstellbar, daß die Dotierungskonzentration an der Oberfläche des wachsenden Einkristalls 1, die von einem Strom des thermischen Konvektionsflusses 13 erreicht wird, wesentlich geringer als in den anderen Teilen der Oberfläche sein kann.

Es ist deshalb der Sinn des erfindungsgemäßen Verfahrens, den thermischen Konvektionsfluß 13 zu minimieren, der die fest/flüssige Grenzschicht an der Oberfläche des wachsenden Einkristalls 1 erreicht. In dieser Hinsicht wurde in unerwarteter Weise gefunden, daß der thermische Konvektionsfluß 13 der Schmelze 4 unterdrückt werden kann, wenn ein magnetisches Wanderfeld an die Schmelze 4 im Schmelzriegel 3 angelegt wird, um der Schmelze 4 eine Abwärts-Antriebskraft zu geben. Weiterhin wurde experimentell belegt, daß die Variation der Dotierungskonzentration innerhalb einer Radialebene des Silicium-Einkristalls 1 von unerwünschter Zunahme befreit wird, wenn die ergänzende Menge an polykristallinem Silicium oder geschmolzenem Silicium in die Schmelze 4 eingeführt wird in der Umgebung der Wände der Schmelzriegels 3 unter Unterdrückung der thermischen Konvektion der Schmelze in der oben beschriebenen Weise mit Anlegen eines magnetischen Wanderfeldes an die Schmelze.

Im einzelnen besteht der Sinn des erfindungsgemäßen Verfahrens in der Einführung einer ergänzenden Menge des Ausgangsmaterials zur Schmelze, das fest

oder flüssig sein kann, in die in einem Schmelziegel enthaltene Schmelze, während ein magnetisches Wanderfeld an die Schmelze angelegt wird, so daß der aufsteigende thermische Konvektionsfluß in der Schmelze in der Umgebung der Wände des Schmelziegels unterbunden oder vermindert wird oder vielmehr in der Schmelze ein Abwärtsfluß erzeugt wird unter einer Abwärtskraft, die mehr als ausreichend ist, um den Aufwärtsfluß der Schmelze durch thermische Konvektion außer Kraft zu setzen.

Die Fig. 1, 2 und 3 stellen jeweils in schematischer Weise eine axiale Querschnittsansicht der erfundungsgemäßen Vorrichtung zum Czochralski-Einkristallzüchten dar, in der der Einkristall 1 gezüchtet wird durch Hochziehen aus der Siliciumschmelze 4, die in einem Schmelziegel 3 enthalten ist, der umgeben und beheizt wird von einem Heizelement 5. Diese Anordnung des Schmelziegels 3 und Heizelements 5 ist in einer Kammer 7 enthalten, mit einem Hitzeschild 6, der zwischen der Kammerwand und dem Heizelement 5 liegt, um die Kammerwand vor der Strahlungswärme zu schützen. Die Kammer 7 ist umgeben von einer zylindrischen Magnetspule 8, die ein an die Schmelze in dem Schmelziegel anzulegendes magnetisches Wanderfeld erzeugt, um dieser eine Abwärts-Antriebskraft zu geben. Das polykristalline Silicium 2 als Ausgangsmaterial der Schmelze 4 wird in die Schmelze 4 in geeigneter Weise eingeführt. Wie in Fig. 1 erläutert ist, kann das polykristalline Silicium 2 z.B. in Form eines Stabes unmittelbar in die Schmelze 4 mit einer gesteuerten Rate eingebracht werden. Alternativ wird wie in Fig. 2 erläutert das untere Ende des Stabes aus polykristallinem Silicium 2 mit Photostrahlen wie z.B. einer Laserstrahlung durch das Fenster 8 bestrahlt, um geschmolzen zu werden und in Tropfen in die darunterliegende Schmelze 4 mit einer gesteuerten Rate zu fallen. Eine andere, in Fig. 3 erläuterte Ausführungsform zeigt, daß körniges polykristallines Silicium 10 in die Schmelze 4 durch das Zuführungsrohr 11 eingebracht werden kann. Somit wird eine ergänzende Menge des Ausgangs-Siliciummaterials entweder in fester Form oder in flüssiger Form zur Schmelze hinzugegeben, so daß die Volumenabnahme der Schmelze 4 in dem Schmelziegel 3 ausgeglichen wird und eine wirksame Verhinderung erreicht werden kann gegen die Zunahme der Dotierungskonzentration in der Schmelze 4. Selbstverständlich ist die Einrichtung der Photostrahlen zum Schmelzen des polykristallinen Siliciumstabes an dessen unterem Ende durch das Fenster 9 in Fig. 2 nicht auf einen Laser beschränkt, sondern kann z.B. eine Xenonlampe sein in Verbindung mit einer geeigneten Zusammenführungseinrichtung wie einem Parabolspiegel und optischem Linsensystem.

Nachfolgend werden das Verfahren und die Vorrichtung der Erfindung durch Beispiele detaillierter beschrieben.

#### Beispiel 1

Eine in Beispiel 1 schematisch dargestellte Vorrichtung wurde verwendet für das Czochralski-Einkristallzüchten eines mit Phosphor dotierten Halbleitersiliciums vom n-Typ. Die Frequenz des magnetischen Wanderfeldes betrug 100 Hz und das Magnetfeld wurde im Bereich von 20 bis 200 Gauss verändert.

Zum Vergleich wurden die Vergleichsbeispiele 1 und 2 durchgeführt in Abwesenheit des magnetischen Wanderfeldes, mit bzw. ohne ergänzende Zugabe des polykristallinen Siliciummaterials zur Schmelze im Schmelz-

iegel.

In Beispiel 1 und in Vergleichsbeispiel 2 wurden der wachsende Einkristall 1 und der Schmelziegel 3 mit 20 bzw. 2 Umdrehungen pro Minute in entgegengesetzten 5 Richtungen rotiert, während der wachsende Einkristall 1 und der Schmelziegel 3 im Vergleichsexperiment 1 mit 20 bzw. 10 Umdrehungen pro Minute in entgegengesetzten Richtungen rotiert wurden. Das Einführen der ergänzenden Menge des polykristallinen Siliciums zur 10 Schmelze in dem Schmelziegel wurde in einem Augenblick gestartet, in dem sich der Prozeß des kristallinen Wachstums nach Vervollständigung des Schulter bildenden Schrittes (shouldering step) im stationären Zustand befand und wurde mit einer Rate fortgesetzt, die 15 die Hälfte der Rate des Hochziehens des Einkristalls relativ zum Gewicht betrug, oder in anderen Worten mit einer Rate, die ausreichend war, um die Hälfte der Volumenabnahme der Schmelze in dem Schmelziegel auszugleichen. In Beispiel 1 und Vergleichsbeispiel 2, bei 20 denen die ergänzenden Zugabe des polykristallinen Siliciums durchgeführt wurden, wurde jeweils die Menge des ursprünglich in den Schmelziegel eingebrachten polykristallinen Materials im Vergleich zum Vergleichsbeispiel 1 vermindert, im Hinblick auf die nachfolgend 25 eingeführte ergänzende Menge, so daß ein Einkristallkörper derselben Länge nach Vervollständigung des Prozesses des kristallinen Wachstums in jeder dieser drei Versuche erhalten werden konnte.

Die so gezüchteten Einkristallkörper des Halbleitersiliciums wurden der Messung der Verteilung des spezifischen Widerstandes entlang der axialen Richtung des Hochziehens unterzogen, um den durch die ergänzende Zugabe des polykristallinen Siliciummaterials zur Schmelze in dem Schmelziegel erhaltenen Effekt zu untersuchen. Es wurden Vergleiche angestellt zwischen dem Verhältnis der Länge des Einkristallkörpers, in dem die Variation des spezifischen Widerstandes innerhalb  $\pm 33\%$  lag, mit der Gesamtlänge seines geraden zylindrischen Teiles unter Nichtberücksichtigung der Schulter und des Schwanzes. Die Ergebnisse waren, daß das Verhältnis in Vergleichsbeispiel 1 60% betrug, während das Ergebnis in jeweils Beispiel 1 und Vergleichsbeispiel 2 immerhin 80% betrug. Es ist deshalb klar, daß die Variation des spezifischen Widerstandes des Einkristallsiliciums entlang der axialen Richtung in hohem Ausmaß vermindert werden kann durch die ergänzende Zugabe des polykristallinen Siliciummaterials zur Schmelze während des Prozesses des kristallinen Wachstums.

Im nächsten Fall wurden die Einkristallkörper in Wafers geschnitten, die der Messung der Variation des spezifischen Widerstandes innerhalb der Waferebene unterworfen wurden, was als Funktion des Magnetfeldes die in Fig. 7 gezeigten Ergebnisse erbrachte. Es wird aus dieser Figur klar, daß die in Beispiel 1 erhaltenen Werte 55 der Variation des spezifischen Widerstandes viel kleiner waren als die praktisch nicht akzeptierbaren großen Werte von  $\pm 17\%$  in Vergleichsbeispiel 2, bei dem kein magnetisches Wanderfeld an die Schmelze angelegt wurde, obwohl die ergänzende Einführung des polykristallinen Siliciums zur Schmelze während des Prozesses des Einkristallwachstums in der gleichen Weise wie in Beispiel 1 durchgeführt wurde. Wenn man mit Vergleichsbeispiel 1 vergleicht, bei dem der Vorgang des Einkristallwachstums herkömmlich war ohne Anlegung 60 des magnetischen Wanderfeldes und ohne ergänzende Einführung des polykristallinen Siliciummaterials, ergibt sich weiter die Folgerung, daß die in Beispiel 1 erhaltenen Ergebnisse des erfundungsgemäßen Verfahrens viel 65

besser sind als in Vergleichsbeispiel 1, obwohl die Variation des spezifischen Widerstandes innerhalb der Waferbene ungefähr gleich oder nur geringfügig kleiner als in Vergleichsbeispiel 1 ist, wenn die wesentlich bessere Einheitlichkeit des spezifischen Widerstandes entlang der axialen Richtung in Betracht gezogen wird. 5

### Beispiel 2

Eine schematisch in Fig. 2 dargestellte Vorrichtung 10 zum Czochralski-Einkristallzüchten eines Silicium-Einkristalls wurde verwendet. In diesem Falle betrug die Frequenz des magnetischen Wanderfeldes 50 Hz und die Magnetfelddichte betrug 160 Gauss. Der wachsende Einkristall 1 und der Schmelztiegel 3 wurden mit Geschwindigkeiten von 20 bzw. 10 Umdrehungen pro Minute in entgegengesetzten Richtungen rotiert. Ein Stab aus polykristallinem Silicium wurde mit seinem unteren Ende vertikal immer in Nähe der Oberfläche der Schmelze gehalten und das untere Ende wurde zum 20 Schmelzen mit Laserstrahlen bestrahlt, so daß das polykristalline Silicium ergänzend in flüssigen Tropfen in die Schmelze mit einer solchen Rate eingeführt wurde, daß die ergänzende Einführung des Siliciums die Hälfte der Volumenabnahme der Schmelze durch das Wachstum 25 des Einkristalls ausglich.

Der so gezüchtete Silicium-Einkristall wurde der Messung des spezifischen Widerstandes entlang der axialen Richtung und innerhalb der Ebenen der Wafer unterworfen, die aus dem Einkristallkörper durch Zerschneiden erhalten wurden. Die Ergebnisse waren, daß das Verhältnis der Länge des Einkristalls, in der die Variation des spezifischen Widerstandes innerhalb  $\pm 33\%$  lag, zur Gesamtlänge des geraden zylindrischen Teils des Einkristalls etwa 80% betrug und daß die Variation des spezifischen Widerstandes innerhalb der Waferbene nur 4% betrug. 30 35

Die oben beschriebenen Verfahren und die oben beschriebene Vorrichtung der vorliegenden Erfindung sind anwendbar auf das Czochralski-Einkristallzüchten 40 verschiedener Materialien außer Silicium, bei denen das Dotieren des Einkristalls durch Zugabe des Dotierungsmittels zur Schmelze durchgeführt wird. Z.B. kann, wenn ein mit dem Czochralski-Verfahren gezüchteter Galliumarsenid-Einkristall mit Indium oder Chrom dotiert 45 werden soll, die Variation der Dotierungskonzentration in axialer Richtung durch die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens oder durch die Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung in hohem Ausmaß vermindert werden. 50

**- Leerseite -**

Fig. 1 A51-11 1/2  
37 01 811  
C 30 B 15/02  
22. Januar 1987  
4. August 1988

3701811

FIG.1

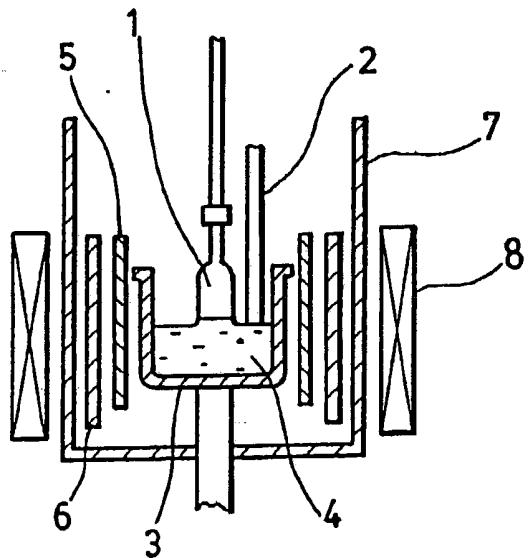


FIG.2

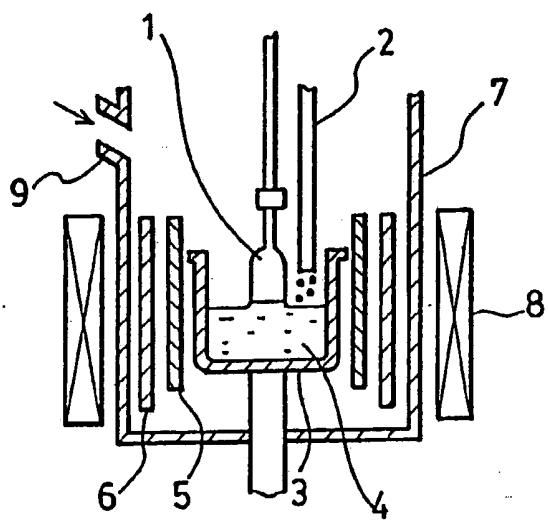
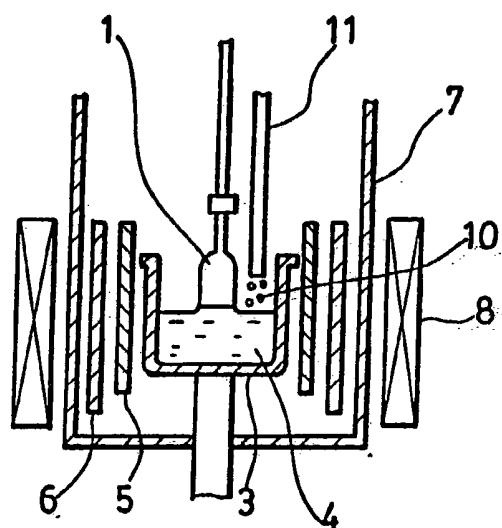


Fig: 16: 16

3701811

FIG. 3



3701811

FIG.4 STAND DER TECHNIK

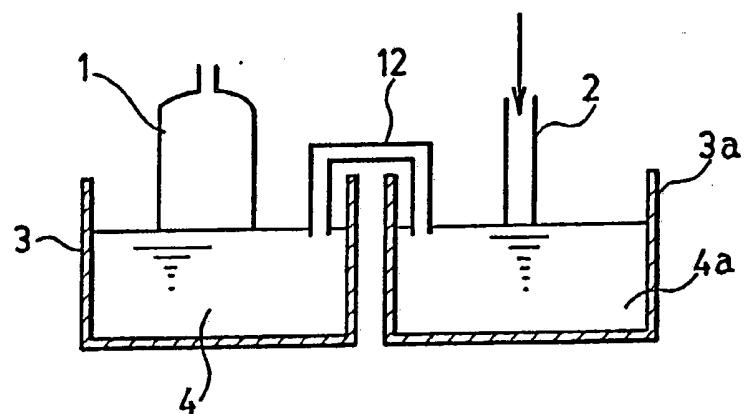
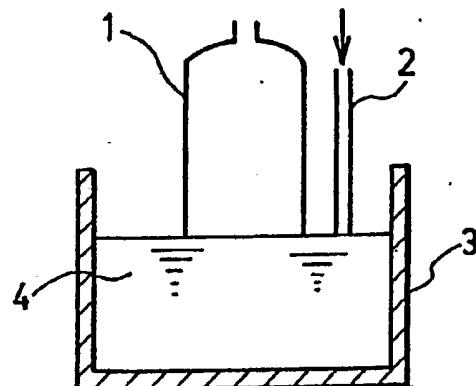


FIG.5 STAND DER TECHNIK



3701811

18. 1. 12  
FIG. 6 STAND DER TECHNIK

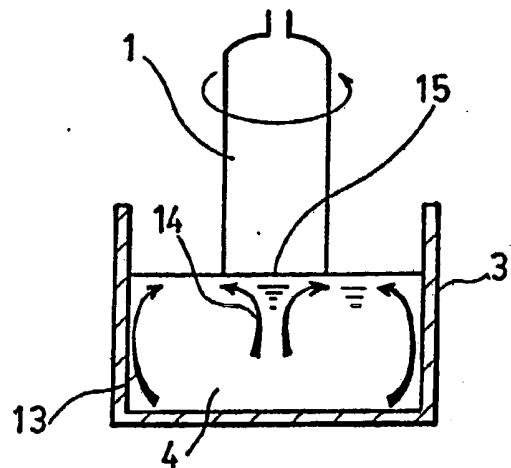


FIG. 7

